

粘土地盤속의 말뚝에 作用하는 側方土壓

Lateral Earth Pressures Acting on Piles in Cohesive Soil

洪 元 杓*
Hong, Won Pyo

Abstract

A theoretical equation is presented to estimate lateral earth pressures acting on piles in a row in cohesive soil. Then, a series of model tests are carried out for various conditions of the piles and the soil to check the validity of the theoretical equation.

As a result of the model tests, the validity of an assumption on the plastic state of soil made in the theoretical derivation and the significance of the theoretical values are clarified. And, the experimental and theoretical values give very good agreements for various kinds of soil strength, pile diameters and intervals between piles. Consequently, the theoretical equation can be used to estimate the lateral earth pressures acting on piles in a row when the soil just around piles become a plastic state.

要 旨

粘土地盤속에 設置된 줄말뚝에 作用하는 側方土壓의 算定理論式이 提案되고, 말뚝 및 地盤에 관한 條件을 여러가지로 變化시킨 一連의 模型實驗을 통하여 本 理論式의 信賴性이 檢討된다.

實驗結果, 말뚝周邊地盤의 塑性狀態에 대한 假定の 妥當性 및 提案式에 의한 理論値가 가지 는 意味가 明白하게 說明될 수 있다. 그리고, 實驗値와 理論値의 比較結果, 粘土의 強度 및 말뚝의 直徑과 設置間隔을 여러가지로 變化시켜도 兩者는 매우 잘 一致하고 있다. 結局, 말뚝周邊地盤만이 塑性狀態로 되려고 하는 경우의 줄말뚝에 作用하는 側方土壓은 本算定理論式에 의 하여 豫測될 수 있다고 結論지어진다.

1. 序 論

地盤의 側方變形이 原因이 되어 地中の 말뚝에 土壓이 作用하게 되는 경우를 많이 보고 들을 수 있다. 이러한 土壓은 말뚝에 變位, 剪斷應力 및 휨應力을 誘發시켜 終局에는 重大한 問題를 야기시킨다. 이와 같은 말뚝을 소위 "Passive pile"(以下 受動말뚝이라 칭함)이라 불리⁽¹⁾, 現在의 基礎工學分野에서 究明하여야 할 가장 시급한 問題 중의 하나로 取扱되고 있다. 受動말뚝

의 發生機構를 究明하기 위하여 지금까지 現場測定이 主로 實施되어 왔다^{(2)~(6)}. 특히 Marche와 Lacroix는 이들 文獻을 整理分析하여 發表한 바 있다⁽⁷⁾. 이러한 研究結果, 受動말뚝의 發生機構에 影響을 미치는 약간의 要素가 定性的으로 밝혀지고 있다.

受動말뚝을 安全하게 設計하기 위하여서는 말뚝에 作用하는 側方土壓을 正確하게 算定할 수 있어야 할 것이다. 그러나 側方土壓은 말뚝과 地盤의 相互作用에 의하여 發生하며, 이들의 變形과 強度 特性에 關係되는 여러가지 要素에 影響

* 正會員·中央大學校 工科大學 助教授

을 받고 있기 때문에 아직 究明이 되고 있지 못한 實情이다. 따라서 側方土壓의 正確한 算定이 매우 困難하며, 특히 粘土壤 또는 砂土壤의 경우는 더욱 그러하다.

여기에 筆者는 一定間隔을 두고 一列로 設置된 受動 말뚝에 作用하는 側方土壓의 發生機構를 究明하는 것을 目的으로 數年間 研究를 계속하여 오고 있다^{(8)~(13)}. 本 論文에서는 먼저 말뚝의 設置間隔과 周邊地盤의 塑性狀態를 보다 現實에 가까운 形態로 考慮하는 것에 重點을 두고, 粘土地盤속에 設置된 粘土壤에 作用하는 側方土壓의 算定理論式을 提案한다. 그 다음으로 粘土地盤에 대한 一連의 模型實驗을 實施한다. 實驗의 目的은 다음과 같이 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 粘土壤 周邊地盤의 塑性狀態에 대한 假定의 妥當性을 檢討하고, 粘土壤의 側方土壓과 地盤의 變位量 사이의 關係를 調查하여 本 理論式에 의한 理論値가 가지는 意味를 明確히 하고자 한다. 둘째, 實驗値를 理論値와 比較하여 本 理論式의 信賴性을 確立하면서 同時に 側方土壓에 影響을 미치는 要素들에 대하여 檢討하고자 한다.

2. 算定理論式

塑性變形地盤속에 一定한 間隔을 두고 一列로 設置된 粘土壤에 대한 理論解析에 있어서는, 粘土壤 중 두개의 粘土壤 中心間에 있는 地盤의 움직임을 對象으로 하면 충분하리라 생각된다. 上面에서 본 粘土壤 中心間의 地盤을 擴大하여 圖示하면 그림 1과 같으며, $ACDFD'C'A'$ 部分의 地盤에 대하여 理論解析을 實施하기로 한다. 여기서 地盤은 깊이 方向으로 平面變形率(plane strain)狀態에 있으며, 周邊地盤은 $AEBB'E'A'$ 部分만이 Mohr-Coulomb의 降伏條件을 滿足하는 塑性狀態에 있다고 假定한다. 기타 事項과 자세한 誘導課程에 대하여서는 紙面關係上 文獻⁽¹¹⁻¹³⁾을 參照하기로 하고, 簡單히 誘導過程을 略述하면 다음과 같다.

粘土地盤에서는 內部摩擦角을 無視할 수 있으므로 그림 1 중의 ϕ 가 0인 경우를 생각한다.

우선 土塊 $EBB'E'$ 內의 x 方向應力 σ_x 는 이 土塊를 x 軸에 수직인 方向으로 分割한 微小要素에 作用하는 힘의 x 方向 平衡條件으로부터 얻는 微分方程式을 不靜定積分하여 다음과 같이 구하여진다.

$$\sigma_x = 3c \ln D + C_1 \quad (1)$$

한편, 土塊 $AEE'A'$ 內의 x 方向應力 σ_x 에 대하여서도 同一하게 誘導하면 다음 式이 구하여진다.

$$\sigma_x = \frac{2c}{D_2} x + C_2 \quad (2)$$

上記 式 중 c 는 粘土壤의 粘着力이고 D 는 土塊 $EBB'E'$ 內의 粘土壤에 있어서 x 軸에 수직인 方向의 길이이다. 또한 C_1 과 C_2 는 積分常數이며, $x=0$ 인 AA' 面에 水平土壓 σ_H 가 作用함을 境界條件으로 하여 구할 수 있다.

말뚝에 作用하는 側方土壓은 BB' 面과 AA' 面에 作用하는 土壓의 차이므로 單位 길이當 한개의 粘土壤에 作用하는 x 方向 側方土壓 p 는 式 (3)과 같이 구하여진다. 여기서 BB' 面에 作用하는 土壓 $p_{BB'}$ 는 式 (1)을 利用하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} p &= p_{BB'} - p_{AA'} \\ &= D_1 \{ \sigma_x \}_{D=D_1} - D_2 \sigma_H \\ &= c D_1 \left(3 \ln \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} \right) \end{aligned}$$

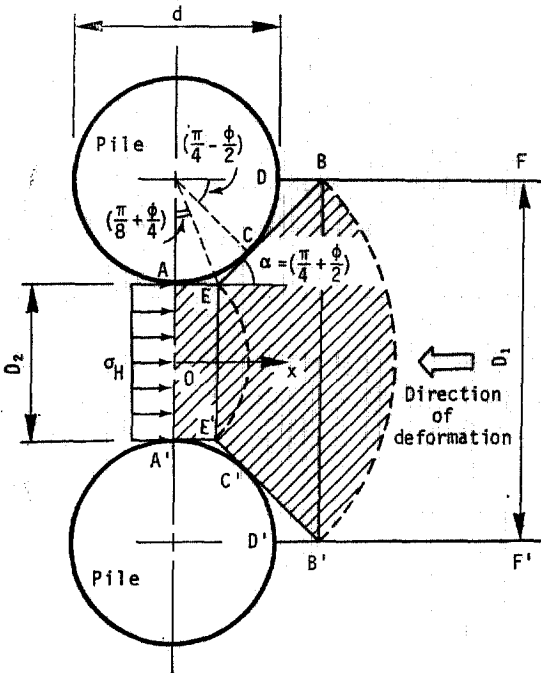


그림 1. 粘土壤 周邊地盤의 塑性狀態

$$+\sigma_H(D_1-D_2) \quad (3)$$

式 (3)을 塑性變形이 發生한 地盤의 두께 H 에 대하여 積分하면 全側方土壓 P 는 다음과 같이 구하여 진다.

$$P = \int_0^H p dz \quad (4)$$

여기서 z 는 地表面에서부터의 깊이를 나타낸다.

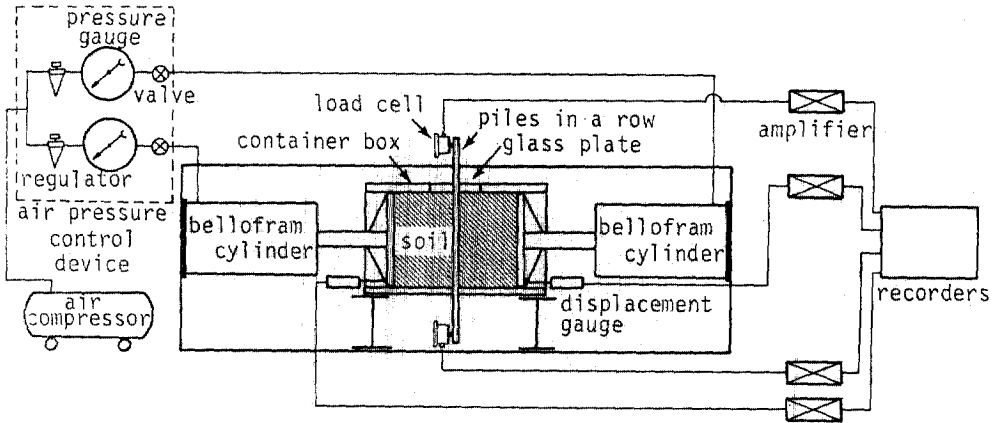


그림 2. 實驗裝置系統圖

成되어 있다. 이 模型箱子는 크기가 길이 60 cm × 높이 30 cm × 깊이 30 cm인 鋼鐵製로 충분한 剛度를 가지며, 內面의 摩擦이 작극 減少될 수 있도록 Teflon 膜이 입혀 있다. 또한 이 模型箱子의 側面板 및 上面板은 組立과 分離가 自由롭게 되어 있으며, 볼트와 너트로 固定된다. 上面板은 中央部에 두께 24 mm의 高強度 玻璃板과 兩側의 鋼鐵板의 세 部分으로 構成되어 있어 玻璃板을 통하여 咀말뚝 周邊地盤의 變形狀態를 觀察할 수

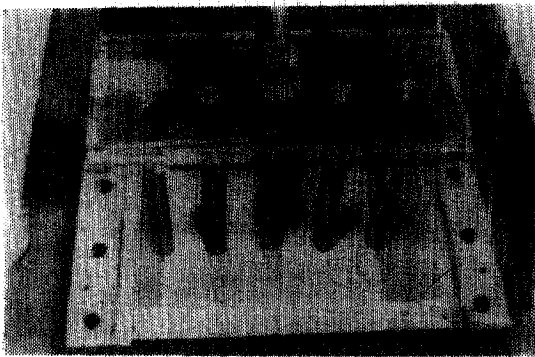


사진 1. 模型箱子內部

3. 模型實驗

3.1 實驗裝置

그림 2의 實驗裝置系統圖에서 보는 바와 같이 實驗裝置는 空氣壓制御部, 實驗裝置本體 및 測定系의 세 部分으로 構成되어 있다. 實驗裝置本體는 咀말뚝과 地盤試料를 넣을 模型箱子部分과 地盤에 側方變形을 發生시키기 위한 載荷裝置로 構

있다. 模型箱子 中央部에 咀말뚝이 設置되며, 咀말뚝設置間隔의 影響을 調査할 수 있게 하기 위하여 여러種類의 直徑과 設置間隔에 대한 實驗을 할 수 있도록 되어 있다. 模型箱子속에 咀말뚝을 設置한 一例를 사진 1에서 볼 수 있다. 模型咀말뚝은 鋼鐵製의 圓柱로 거의 剛體로 생각할 수 있다. 中央에 設置한 咀말뚝은 側方土壓을 測定하기 위하여 模型箱子 上下面보다 길게 되어 있고, 箱子와의 接觸部는 O-링 및 고무패킹으로 漏水가 방지되어 있다. 空氣壓에 의하여 作動되는 Bellofram 시린더 (320 mm stroke)를 두개 使用하여 양쪽 시린더에 壓力差를 줌으로써, 模型地盤이 側方으로 變形할 수 있게 된다. 模型地盤에 接하는 兩側의 載荷板을 서로 獨立적으로 作動시키기 위하여 두 系統의 制御系를 가지며 高精度의 Regulator와 壓力計에 의하여 任意로 壓力差를 加할 수 있게 되어 있다. 載荷板의 斷面은 297 mm × 297 mm 이고, 고무링으로 漏水가 방지된다.

3.2 地盤試料 및 模型咀말뚝

實驗에 使用된 粘土는 Crown clay이며 液性限

界가 100%, 塑性限界가 43%, 比重이 2.59, 粘土分(<2 μ m)이 60%이다. 實驗에 使用되는 供試體는 이 粘土를 大型壓密裝置로 攪拌한 것이다. 즉 표 1에 表示한 세 種類의 強度(9.8 kPa, 16.7 kPa, 22.4 kPa)를 가지는 粘土供試體에 대하여 實驗을 實施한다.

模型말뚝의 直徑은 2 cm, 3 cm 및 4 cm의 세 種類이며, 표 2에 表示한 바와 같이 말뚝間隔을 5 cm, 6 cm, 7.5 cm, 15 cm 및 30 cm의 다섯 種類로 變化시켜 配置한다. 따라서 말뚝間隔比 D_2/D_1 이 0.2에서 0.9 程度範圍까지의 實驗을 할 수 있다.

實驗은 표 2에 表示한 바와 같이 地盤強度, 말뚝直徑 및 말뚝設置間隔을 變化시켜 18回 實施한다.

표 1. 粘土供試體

Clay specimen	w(%)	r(kN/m ³)	c _v (kPa)
A	73.1	16.2	9.8
B	63.5	16.4	16.7
C	58.5	16.8	22.4

표 2. 實驗케이스

No.	d(cm)	D ₁ (cm)	D ₂ /D ₁	Specimen
C-1	2	7.5	0.73	Clay specimen A
C-2	3	5.0	0.40	
C-3	3	6.0	0.50	
C-4	3	7.5	0.60	
C-5	3	7.5	0.60	
C-6	3	15.0	0.80	
C-7	4	5.0	0.20	
C-8	4	7.5	0.47	
C-9	3	5.0	0.40	Clay specimen B
C-10	3	6.0	0.50	
C-11	3	30.0	0.90	
C-12	4	5.0	0.20	
C-13	4	6.0	0.33	
C-14	3	5.0	0.40	Clay specimen C
C-15	3	7.5	0.60	
C-16	3	30.0	0.90	
C-17	4	6.0	0.33	
C-18	4	15.0	0.73	

3.3 實驗方法

우선 摩擦力에 의한 影響을 줄이기 위하여 模型箱子 內面에 Silicon기름을 바르고, 미리 準備한 地盤供試體와 줄말뚝을 模型箱子속에 넣는다. 말뚝周邊地盤의 變形舉動을 觀察할 경우는 작은 標點을 地盤上面에 부치고 10 mm 눈금이 그려진 0.5 mm 두께의 Celluloid 板을 덮는다. 그런후 兩載荷板에 10 kPa의 水平土壓 σ_H 를 加하여 模型地盤을 作成한다. 한 時間가량 그대로 放置한 후 空氣壓制御裝置를 調節하여 말뚝列 前面의 載荷板에 一定壓力를 段階的으로 增加시켜 地盤을 側方으로 變形시킨다. 여기서 各段階의 載荷時間은 20 초로 한다.

말뚝에 作用하는 側方土壓은 模型箱子 外部에 突出되어 있는 中央말뚝의 兩端에 裝置된 Load cell에 의하여 連續的으로 測定한다. 또한 地盤의 變位量은 兩載荷板에 裝置된 變位計에 의하여 測定하며, 말뚝周邊地盤의 變形舉動은 上面의 유리板을 통하여 地盤중에 表示한 標點의 移動을 寫眞撮影하여 觀察한다.

3.4 實驗結果

표 2에 表示한 實驗케이스에 대하여 實施한 實驗 중 No.C-4 實驗의 結果를 例示하면 그림 3과 같다. 이 그림은 말뚝의 側方土壓 P , 載荷壓 σ_P , 地盤의 變位量 δ 및 載荷時間 t_P 를 각각 축으로 하여 이들 사이의 關係를 表示한 것이다.

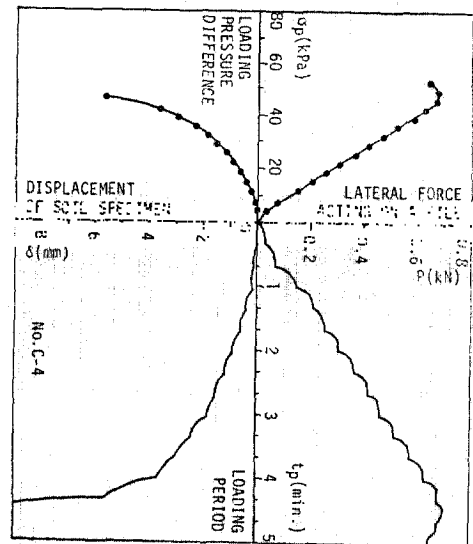


그림 3. 實驗結果

여기서 말뚝의 側方土壓 P 는 中央말뚝에 作用하는 全側方土壓이며 上下部の Load cell 에 의하여 測定된 값의 合으로 얻는다. 地盤의 變位量 δ 는 그림 2에 表示한 載荷板중 左側部分의 載荷板에 設置한 變位計로 測定한 값이며, 載荷壓 σ_P 는 左右載荷板에 加하여진 壓力의 差이다.

P 와 t_p 의 關係 및 δ 와 t_p 의 關係로부터 말뚝의 側方土壓과 地盤의 變位量은 各荷重段階의 載荷時間 20 초 동안에 있어서 점차 增加하다가 20 초 정도에서는 一定한 값을 유지하고 있음을 볼 수 있다.

한편, P 와 σ_P 의 關係 및 δ 와 σ_P 의 關係는 各 荷重段階의 載荷終了時의 側方土壓 P 및 變位量 δ 를 載荷壓 σ_P 에 대하여 整理한 것이다. 말뚝에 作用하는 側方土壓은 載荷에 의하여 極限值에 달하기까지 σ_P 에 대하여 거의 線形的으로 增加하나 地盤의 變位量은 2次曲線的으로 더욱 빠르게 增加한다. 더욱이 側方土壓이 極限值에 달하는 σ_P 부근에서는 變位量이 急增하고 있음이 보여진다.

4. 考 察

4.1 周邊地盤의 變形舉動

사진 2는 竣말뚝周邊地盤의 變形舉動을 例示하기 위하여 地盤上面에 表示한 標點들의 移動한 狀態를 유리板을 통하여 寫眞撮影한 것이다.

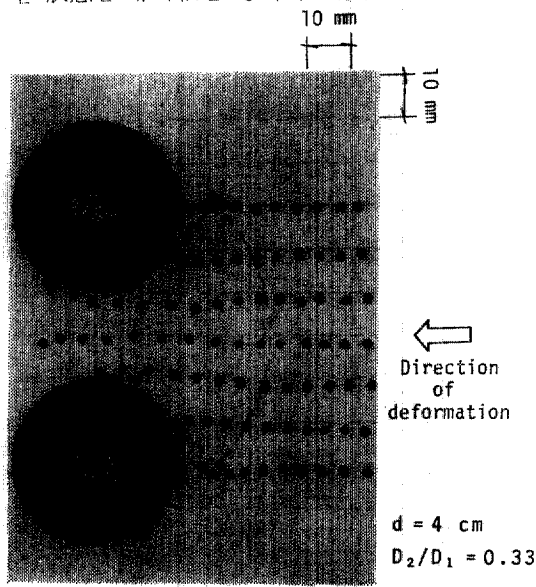


사진 2. 말뚝周邊地盤의 變形舉動

이 경우의 말뚝直徑은 4 cm이고 말뚝間隔比 D_2/D_1 은 0.33이다. 標點의 初期位置는 地盤의 變形方向에 平行한 線上에 거의 一列로 配置되어 있었다. 따라서 사진 중의 地盤變形方向의 各線 부근의 一連의 標點은 地盤變形의 流線을 表示하게 된다. 이 사진으로부터 말뚝列에서 좀 떨어진 位置의 流線은 地盤變形方向에 거의 平行하나, 말뚝周邊部에서는 말뚝에 의하여 크게 影響을 받고 있음을 알 수가 있다. 사진 중 點線으로 둘러싸인 部分은 그림 1에서 表示한 바와 같이 算定理論式 (3)을 誘導할 때 假定한 말뚝周邊地盤의 塑性領域을 表示한다. 流線은 주로 이 點

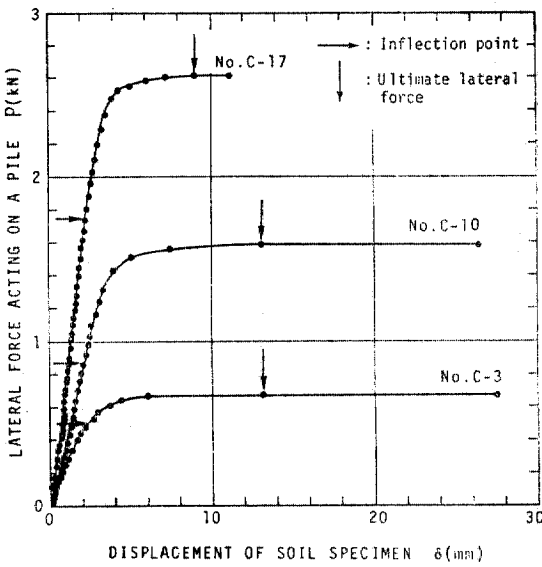


그림 4. 側方土壓과 地盤變位量의 關係

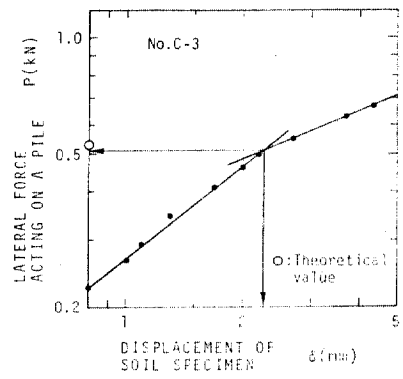


그림 5. 側方土壓과 地盤變位量의 兩對數關係

線範圍內에서 흐트러지고 있으므로, 理論解析上의 塑性領域에 대한 假定은 거의 滿足되고 있다고 생각된다.

그림 4는 말뚝에 作用하는 側方土壓 P 와 地盤의 變位量 δ 와의 關係를 3종의 實驗結果에 대하여 例示한 것이다. 이 그림에 의하면 말뚝에 作用하는 側方土壓은 地盤의 變位量의 增加와 함께 점차 增加하여 一定值의 極限側方土壓(↓表示)에 도달함을 알 수 있다. 또한 地盤의 變位量에 대한 側方土壓의 初期增加率이 클수록 말뚝에 作用하는 極限側方土壓이 크음을 알 수 있다.

그림 5는 그림 4중 No.C-3의 實驗結果에 대하여 側方土壓 P 와 地盤의 變位量 δ 와의 關係를 兩面對數紙上에 再整理한 것이다. 圖上에 表示한 바와 같이 이들 實驗結果는 變曲點을 갖는 直線關係로 近似的으로 表示할 수 있다. 縱軸上에 "○"로 表示한 側方土壓은 理論式 (4)로부터 얻 理論值를 나타낸다. 이 理論值는 變曲點에 있어서의 側方土壓에 가까운 것을 알 수 있다. 이 變曲點의 側方土壓을 그림 4 상에 →表示로 나타내면 말뚝에 作用하는 側方土壓은 變曲點에 도달하기까지의 地盤變位量에 대하여 거의 比例的으로 增加하고 있음을 알 수 있다.

표 2의 全實驗結果에 대하여 變曲點에서의 側方土壓 P_I 와 變曲點에 도달하기까지의 側方土壓增加率과의 關係를 表示하면 그림 6과 같다.

여기서 變曲點에서의 地盤變位量을 δ_I 라 하면 變位量에 대한 側方土壓增加率은 P_I/δ_I 로 구할 수 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 變曲點에서의 側方土壓은 變曲點까지의 側方土壓增加率에 대하여 거의 比例的으로 增加하고 있다. 그림 중

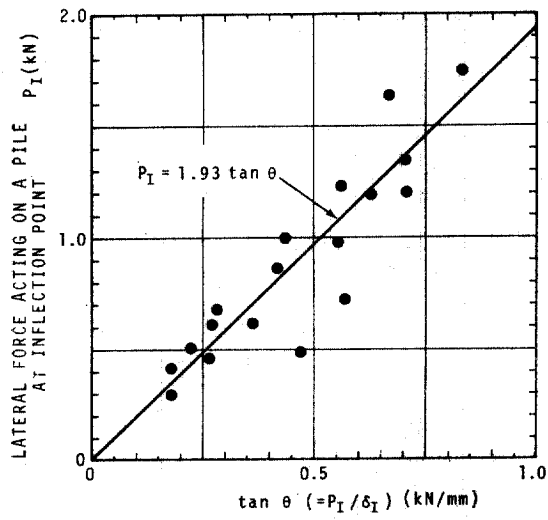
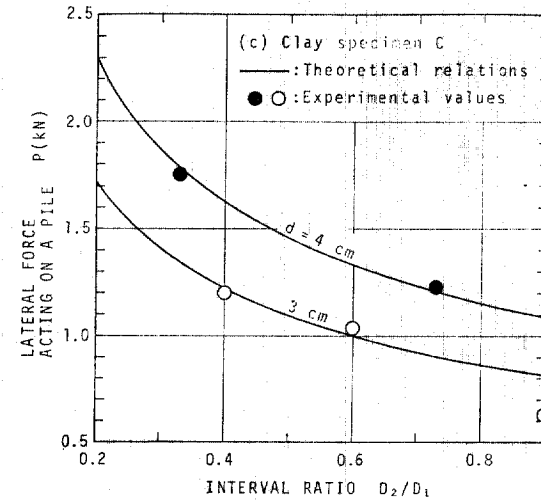
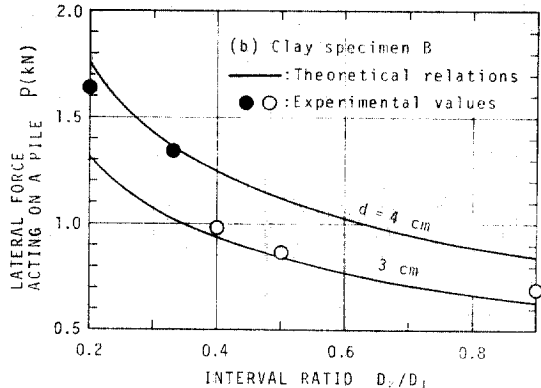
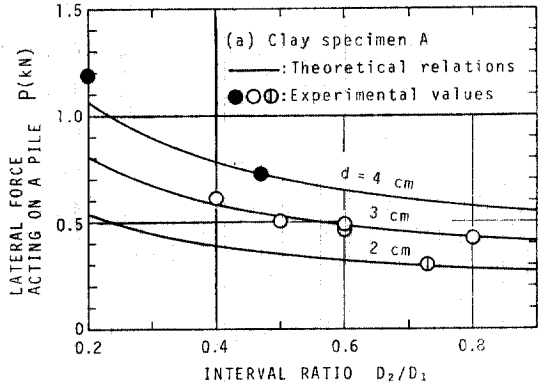


그림 6. 變曲點까지의 側方土壓增加率

그림 7. 側方土壓과 間隔比의 關係

實線은 回歸線이며 側方土壓 P_l 는 側方土壓增加率의 1.93 倍로 表示되고 있음을 나타낸다. 따라서 變曲點에서의 地盤의 變位置 δ_l 는 1.93 P_l 로 近似的으로 算定할 수가 있을 것이다.

以上에서 檢討한 바에 의하면 그림 5의 變曲點은 말뚝周邊地盤이 塑性狀態로 되려고 할 때의 應力狀態를 나타내고 있다고 생각할 수 있으며, 이는 理論解析상의 地盤의 塑性狀態에 대한 假定과도 一致한다.

4.2 實驗値와 理論値의 比較

말뚝直徑 d 의 變化에 따른 말뚝의 側方土壓 P 와 말뚝間隔比 D_2/D_1 과의 關係를 粘土供試體 A, B 및 C의 實驗結果에 대하여 圖示하면 그림 7과 같다. 그림중 實線은 式 (4)로부터 얻은 理論曲線이며 實驗値는 變曲點에 있어서의 側方土壓이다. 이 그림으로부터 몇몇 實驗値는 理論曲線과 약간의 誤差를 보이고 있으나 全般的으로 實驗値는 理論値와 잘 一致하고 있음을 알 수 있다. 말뚝間隔比 D_2/D_1 이 0.9인 경우를 除外한 나머지 全體의 側方土壓 實驗値는 理論値와 $\pm 11\%$ 以內의 誤差를 나타내고 있다. D_2/D_1 이 0.9인 경우는 誤差가 20%以內가 된다. 이는 말뚝間隔이 極端적으로 되면 理論解析에 있어서 假定한 말뚝周邊의 塑性狀態가 實際의 舉動과 다소 差異가 생김에 起因한다고 생각된다. 그러나 말뚝直徑이 3cm고 間隔比 D_2/D_1 이 0.9인 경우는 單一말뚝의 경우로 생각하여도 무방한 말뚝間隔을 考慮하면 理論式의 適用範圍는 相當히 넓으며 實用上 거의 모든 柱말뚝에 대하여서 適用할 수 있다고 생각된다. 나아가서는 單一말뚝에 대하여서도 適用이 可能하리라 본다.

한편, 이들 實驗結果에 의하면 말뚝直徑이 一定한 경우 말뚝間隔比가 적을수록 즉, 말뚝間隔이 좁아질수록 말뚝의 側方土壓의 實驗値는 理論値의 傾向에 따라 增加함을 볼 수 있다. 또한 말뚝間隔比가 一定하면 말뚝直徑의 增大와 함께 말뚝의 側方土壓은 線形的으로 增加하는 傾向이 보인다.

그림 8은 P/D_1 과 D_2/D_1 의 關係를 全實驗結果에 대하여 整理한 그림이다. P/D_1 은 말뚝 한 개당 側方土壓 P 를 말뚝의 中心間隔 D_1 으로 나눈 값 즉, 地盤의 單位幅當으로 表示한 側方土壓

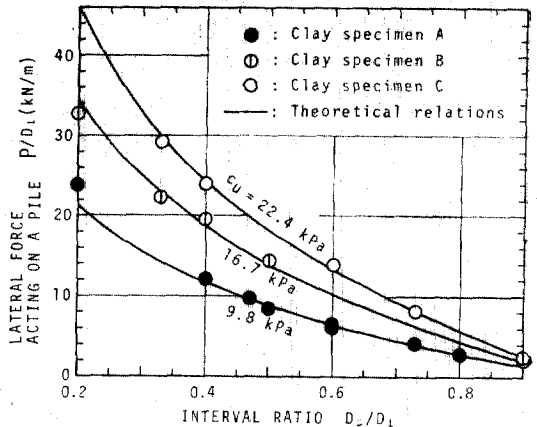


그림 8. 實驗値와 理論値의 比較

이다. D_2/D_1 을 一定하게 하면 P/D_1 은 말뚝直徑 d 에 無關하게 항상 一定하다. 따라서 P/D_1 과 D_2/D_1 을 座標軸으로 태하므로써 말뚝直徑에 相關없이 全實驗結果를 그림 8과 같이 整理할 수 있을 것이다. 그림중 實線은 理論曲線을 나타낸다. 이 그림으로부터 여러種類의 말뚝直徑 및 말뚝間隔에 대하여 粘土供試體 A, B 및 C의 實驗値는 理論曲線에 극히 良好한 一致를 보이고 있음을 再確認할 수 있다.

또한 側方土壓의 實驗値는 地盤의 非排水剪斷強度 c_u 의 增大와 함께 理論値의 傾向에 따라 增大되고 있음도 알 수 있다.

5. 結 論

粘土地盤속에 一定한 間隔을 두고 一列로 設置된 柱말뚝에 作用하는 側方土壓에 관한 理論解析을 說明하고 이 理論의 妥當性을 檢討하기 위하여 여러가지 경우의 말뚝과 地盤의 條件에 대한 一連의 模型實驗을 實施하였다. 本 研究로 얻은 結論을 整理하면 다음과 같다.

(1) 두개의 말뚝中心間에 있는 地盤의 움직임을 대상으로하여 이 地盤이 Mohr-Coulomb의 降伏條件을 滿足시킨다고 假定하므로써 말뚝의 設置間隔과 周邊地盤의 塑性狀態를 考慮한 말뚝의 側方土壓 算定理論式을 구할 수 있다.

(2) 理論解析상에서 設定한 周邊地盤의 塑性狀態에 관한 假定은 認定되어 질 수 있음이 實

驗結果에 의하여 確認된다.

(3) 말뚝의 側方土壓과 地盤의 變位量 사이의 實驗値는 兩面對數紙상에서 變曲點을 갖는 直線關係로 表示되며, 이 側方土壓은 變曲點에 도달하기까지 地盤變位量에 대하여 거의 比例的으로 增加하다가 最終的으로는 極限側方土壓에 도달한다. 또한 變曲點에서의 側方土壓은 變曲點까지의 地盤變位量에 대한 側方土壓增加率에 거의 比例的으로 增加한다.

(4) 變曲點에서의 側方土壓 實驗値는 理論式에 의한 算定値와 극히 良好한 一致를 보인다. 따라서 말뚝周邊地盤이 塑性狀態로 되려고 할 때 地盤에 作用하는 側方土壓은 本理論式으로 豫測될 수 있다.

(5) 말뚝에 作用하는 側方土壓은 말뚝直徑 및 地盤強度의 增大와 함께 增大하고 말뚝間隔의 增大와 함께 減小하는 傾向이 있다.

感 謝 의 말

本 研究를 大阪大學에서 遂行함에 있어 物心兩面의 後援을 아끼지 않으며 指導하여 주었던 同校의 伊藤富雄 教授 및 松井保 教授께 紙面을 빌어 深甚한 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

1. De Beer, E.: "Piles subjected to static lateral loads," State-of-the-Art Report, *Proc., 9th ICSMFE, Specialty Session 10*, Tokyo, 1977, pp. 1-14.
2. Frank, C. and Boonstra, G.C.: "Horizontal pressures on pile foundations," *Proc., 2nd ICSMFE*, Rotterdam, Vol.4, 1948, pp.131-135.
3. Heyman, L. and Boersma, L.: "Bending moment in piles due to lateral earth pressure," *Proc.,*

- 5th *ICSMFE*, Paris, Vol. 2, 1961, pp.425~429.
4. Heyman, L.: "Measurement of the influence of lateral earth pressure on pile foundations," *Proc., 6th ICSMFE*, Toronto, Vol.2, 1965, pp.257-260.
5. Leussink, H. and Wenz, K.P.: "Storage yard foundations on soft cohesive soils," *Proc., 7th ICSMFE*, Mexico, Vol.2, 1969, pp.149-155.
6. Nicu, N.D., Antes, D.R. and Kessler, R.S.: "Field measurements on instrumented piles under an overpass abutment," *Highway Research Record*, No.354, 1971, pp.90-102.
7. Marche, R. and Lacroix, Y.: "Stabilite des culées de ponts établies sur des pieux traversant une couche molle," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.9, No.1, 1972, pp.1-24.
8. 伊藤富雄·松井保·洪元杓: "受働杭に作用する側方土圧に関する實驗的研究", 土木学会第34回年次學術講演概要集, 第3部, 1979, pp.441-442.
9. 伊藤富雄·松井保·洪元杓: "受働杭に作用する側方土圧の研究", 第15回土質工學研究発表會講演集, 1980, pp.1005-1008.
10. 伊藤富雄·松井保·洪元杓: "受働杭に作用する側方土圧の研究(砂地盤の場合)", 土木学会第35回年次學術講演概要集, 第3部, 1980, pp.368-369.
11. Hong, W.P.: *Stability Analysis of Slope Containing Piles in a Row and Its Design Method*, Thesis, Eng. Dr., Osaka University, 1980, pp. 30-89.
12. 伊藤富雄·松井保·洪元杓·井関泰文: "列杭に作用する側方土圧の研究", 第16回土質工學研究発表會講演集, 1981, pp.1005-1008.
13. 洪元杓: "말뚝에 作用하는 側方土壓", 1981年度學術發表會概要集, 大韓土木學會, 1部分, 1981, pp. 13-17.

(接受: 1982. 2. 2)